VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

1. Noțiuni de seismologie inginerească

1.1. Introducere

În medie peste 10000 de persoane au decedat anual din cauza cutremurelor de pământ în secolul 20 (Bolt, 2001, vezi Figura 1.1). Chiar dacă structurile proiectate şi construite conform standardelor moderne de proiectare antiseismică sunt în general mult mai sigure, eliminând la maxim pierderile de vieți omeneşti, pierderile economice în urma cutremurelor de pământ sunt în creştere la nivel mondial. Două exemple notorii sunt cutremurul din 1994 de la Northridge (SUA), cu pierderi estimate la 40 miliarde dolari americani, şi cel din 1995 de la Kobe (Japonia), soldat cu pierderi de aproximativ 100 miliarde dolari americani (Scawthorn, 2003).

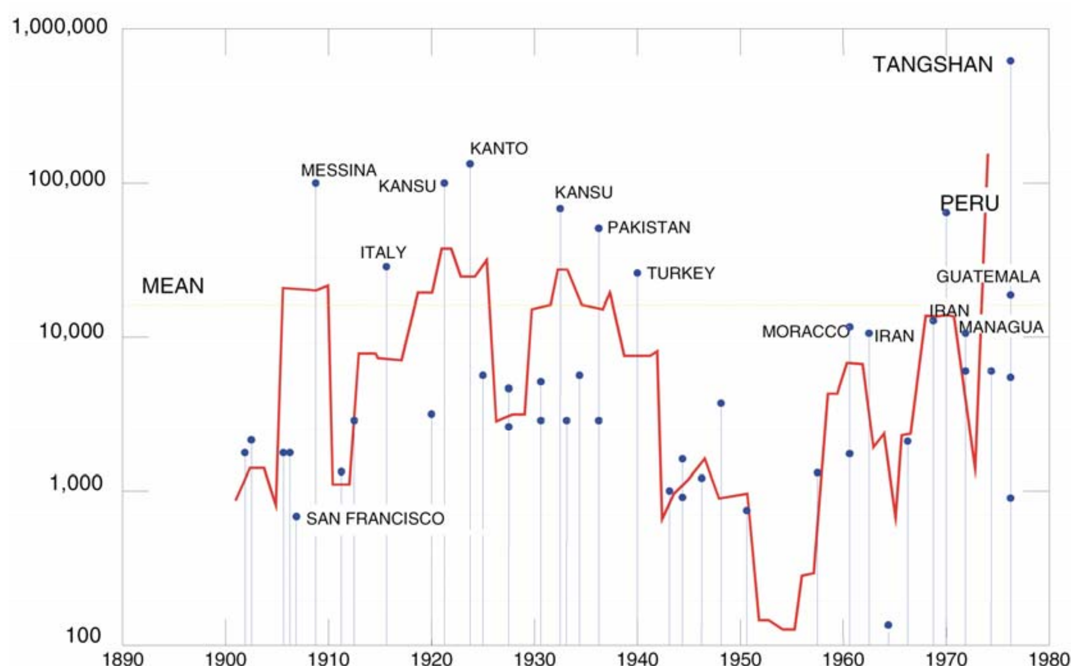


Figura 1.1. Pierderi de vieți omeneşti datorate cutremurelor majore în secolul 20 (Bolt, 2001).

Ingineria seismică este un domeniu al ingineriei care are ca scop reducerea efectelor cutremurelor de pământ asupra construcțiilor inginereşti. Aceasta cuprinde diverse aspecte, printre care: (1) studierea acelor aspecte ale seismologiei şi geologiei care sunt importante pentru problemă, (2) analiza răspunsului dinamic al structurilor sub acțiunea mişcării seismice şi (3) dezvoltarea şi aplicarea unor metode de planificare, proiectare şi execuție a construcțiilor rezistente la efectul cutremurelor de pământ. Ingineria seismică se întrepătrunde cu geoştiințele pe de o parte, şi cu ştiințele sociale, arhitectura şi autoritățile pe de altă parte.

Seismologia este o ramură a geoştiințelor care studiază vibrațiile create de surse naturale precum cutremurele de pământ şi erupțiile vulcanice, precum şi sursele artificiale precum exploziile subterane. **Seismologia inginerească** are ca obiectiv explicarea şi prezicerea mişcărilor seismice puternice dintr-un amplasament şi studiul caracteristicilor mişcării seismice care sunt importante pentru răspunsul structurilor inginereşti.

Pionerul cercetărilor moderne de seismologie a fost inginerul irlandez Robert Mallet, care a întreprins studii de teren temeinice după cutremurul Neapoletan din 1857 (Italia). Acesta a explicat "masele dislocate de piatră şi mortar" folosind termeni şi principii ale mecanicii, şi a introdus în acest mod un vocabular de bază, ca de exemplu noțiunile de seismologie, hipocentru, isoseismic.

Inginerii constructori sunt interesați de mişcările seismice puternice, care pot produce distrugeri semnificative asupra construcțiilor. Cu toate acestea, primii 60 de ani ai secolului 20 au fost

marcaţi de cercetări seismologice ale undelor seismice de la cutremure îndepărtate folosind seismografe foarte sensibile. Aceste aparate nu erau potrivite pentru cutremure mai rare şi mai puternice, relevante pentru practica inginerească.

Ulterior, situaţia s-a schimbat. După cutremurul San Fernando din 1971 au fost obţinute sute de înregistrări seismice puternice pentru acest seism de magnitudine 6.5 din SUA. Cercetările privind mişcările seismice puternice au început să avanseze rapid odată cu instalarea în zonele seismice de pe glob a unor reţele dezvoltate de accelerometre digitale şi obţinerea de înregistrări seismice în urma unor cutremure majore.

1.2. Activitatea seismică la nivel mondial

Analiza înregistrărilor seismice de la diferite observatoare seismografice permite determinarea poziţiei cutremurelor de pământ. În acest mod, s-a obţinut o imagine de ansamblu a distribuţiei seismelor pe pământ (vezi Figura 1.2). Centuri cu o activitate seismică ridicată delimitează zone continentale şi oceanice întinse. În centura circumpacifică de exemplu au loc aproximativ 81% din cutremurele majore de pe pământ. Alte 17% din cutremurele majore sunt localizate de-a lungul centurii Alpide (care se întinde de la oceanul Atlantic până la insulele Sumatra din oceanul Pacific şi include munţii Alpi, Carpaţii, munţii din Anatolia şi Iran, Hindu Kush, Himalaia, şi munţii din Asia de sud-est). În interiorul zonelor continentale şi oceanice cutremurele de pământ sunt mult mai rare, dar nu lipsesc în totalitate. Alte concentrări de activităţi seismice pot fi observate în zonele oceanice, cum ar fi cele din mijlocul oceanului Atlantic şi ale oceanului Indian. Lanţuri de munţi submarini se află în aceste zone, iar erupţiile vulcanice sunt frecvente. Concentrări masive de cutremure de mare adâncime, de până a 680 km, pot fi observate în lanţurile de insule din oceanul Pacific şi Caraibele de est.

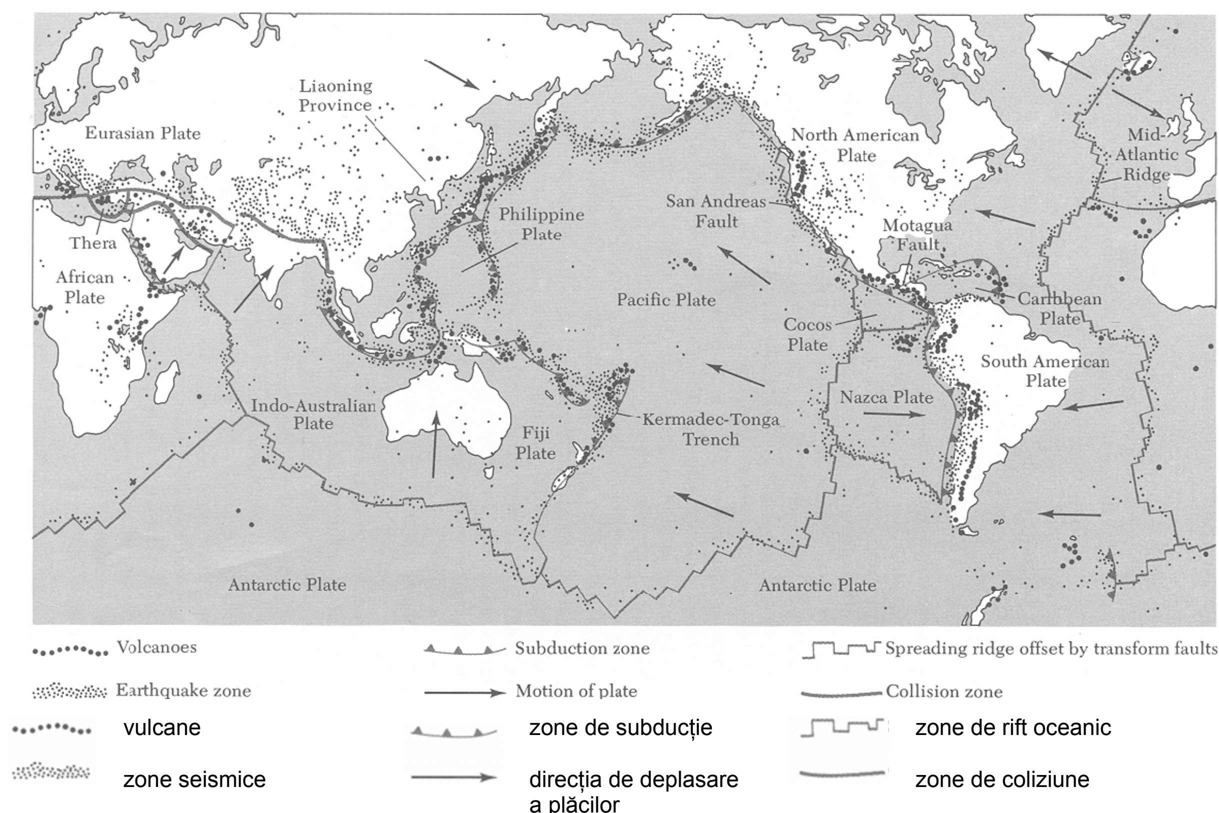


Figura 1.2. Distribuţia mondială a cutremurelor (Bolt, 2001).

Undele seismice generate de un cutremur de pământ iau naştere undeva sub suprafaţa terenului, prin alunecarea bruscă a marginilor unei falii, prin care se eliberează energia de deformaţie acumulată în masivul de rocă. Cu toate că în cazul cutremurelor naturale sursa seismică este

distribuită într-un volum de rocă, adeseori este convenabilă considerarea simplificată a sursei seismice ca şi un punct în care iau naştere undele seismice. Acest punct poartă denumirea de **focar** sau **hipocentru**. Proiecția hipocentrului pe suprafața terenului se numeşte **epicentru** (vezi Figura 1.3). Cu toate că multe focare se află la adâncimi mici, în unele regiuni acestea se află la sute de kilometri adâncime. Într-un mod relativ arbitrar, cutremurele de pământ pot fi clasificate în funcție de adâncimea hipocentrului în:

- Cutremure de suprafață, cu adâncimea hipocentrului mai mică de 70 km.
- Cutremure intermediare, cu adâncimea hipocentrului cuprinsă între 70 şi 300 km
- Cutremure de adâncime, cu adâncimea hipocentrului mai mare de 300 km

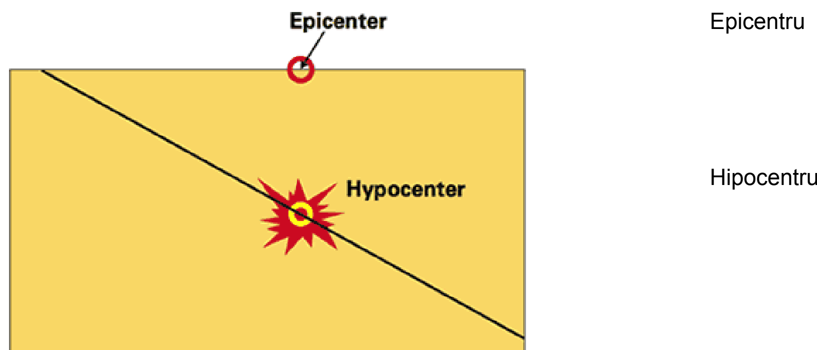


Figura 1.3. Definiția hipocentrului şi a epicentrului unui cutremur de pământ, (USGS, n.d.)

Cutremurele de suprafață au consecințele cele mai devastatoare, acestea contribuind la aproximativ 75% din energia seismică totală eliberată de cutremure la nivel mondial. Exemple de zone afectate de cutremure de suprafață sunt California (SUA), Turcia, Banat (România), etc. S-a arătat că majoritatea cutremurelor produse în partea centrală a Californiei au hipocentrul în primii 5 km de la suprafață şi doar unele cutremure au focarele mai adânci, de maximum 15 kilometri.

Majoritatea cutremurelor medii şi puternice de suprafață sunt urmate de **post-şocuri**, care se pot produce între câteva ore şi câteva luni după şocul principal. Câteodată, post-şocurile sunt suficient de puternice pentru a crea distrugeri construcțiilor slăbite de cutremurul principal. Doar puține dintre cutremure sunt precedate de **ante-şocuri** provenind din zona hipocentrală, sugerându-se folosirea acestora pentru prezicerea şocurilor principale.

Regiunile afectate de cutremurele de pământ cu focare intermediare şi de adâncime includ România (sursa subcrustală Vrancea), marea Egee, Spania, Anzii din America de Sud, insulele Tonga, Samoa, Noile Hebride, marea Japoniei, Indonezia şi insulele Caraibe.

1.3. Cauzele cutremurelor

1.3.1. Cutremure tectonice

Majoritatea cutremurelor de pământ pot fi explicate coerent de teoria plăcilor tectonice. Conform acestei teorii, învelişul exterior al Pământului (denumit litosferă, vezi Figura 1.4) este format din câteva masive imense de rocă relativ stabile, denumite plăci tectonice. Principalele plăci tectonice sunt reprezentate în Figura 1.2 şi Figura 1.5. Acestea au în medie o grosime de aproximativ 80 kilometri şi sunt deplasate de mişcarea de convecție din manta, care la rândul său este creată de căldură generată în nucleu. Mişcarea relativă a plăcilor tectonice este responsabilă pentru o parte importantă a activității seismice mondiale. Coliziunea dintre plăcile litosferice, distrugerea marginilor plăcilor tectonice în zonele de **subducție** (zone convergente) la alunecarea unei plăci sub o altă placă, sau expansiunea în zona **rifturilor** oceanice (zone divergente) sunt toate mecanisme care produc tensiuni şi fracturi semnificative în scoarța terestră. Multe cutremure majore se datorează alunecării de-a lungul faliilor **transcurente**.

Cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice poartă denumirea de cutremure **inter-placă**. Cele mai puternice cutremure de suprafață din Chile, Peru, Caraibele de est, America Centrală, sudul Mexicului, California, Alaska de sud, insulele Aleute şi Kurile, Japonia, Taiwan,

Filipinele, Indonezia, Noua Zelandă, centura Alpi - Caucaz - Himalaia sunt de tipul cutremurelor intra-placă. Viteza medie de deplasare a plăcilor tectonice este de 2-5 cm/an.

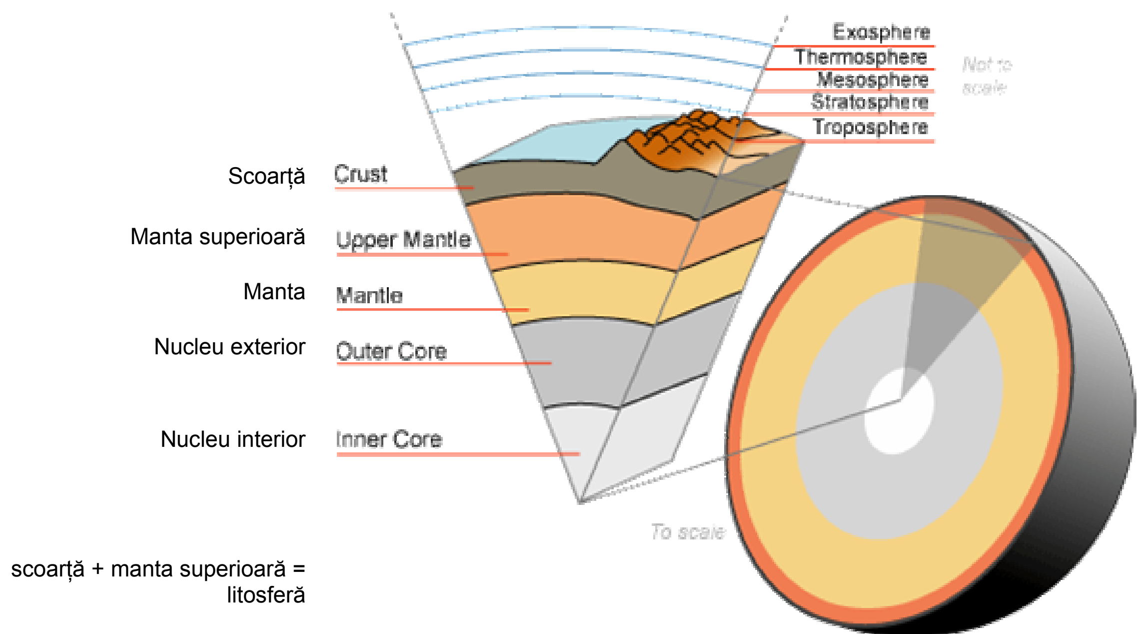


Figura 1.4. Structura internă a planetei pământ (http://en.wikipedia.org/).

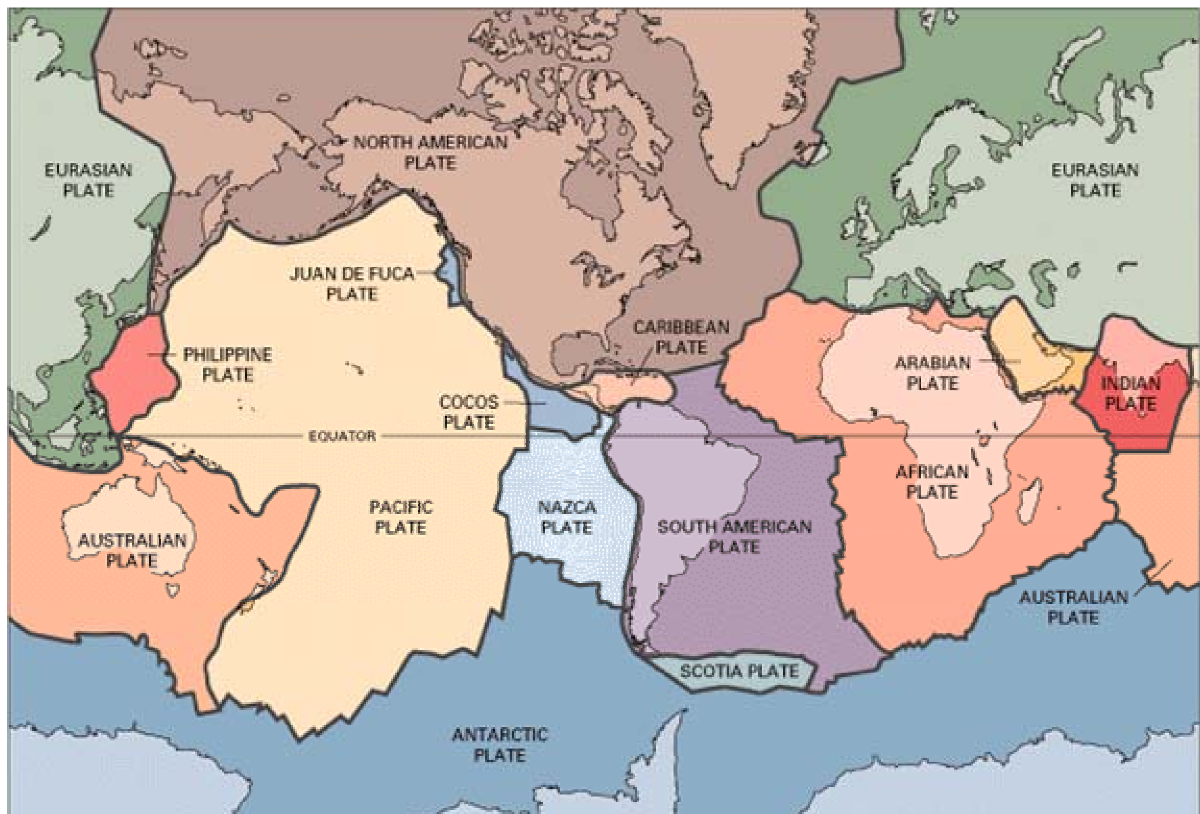


Figura 1.5. Principale plăci tectonice, (USGS, n.d.)

zonă convergentă oceanică | zonă transcurentă | zonă divergentă oceanică | zonă convergentă | zonă divergentă oceanică

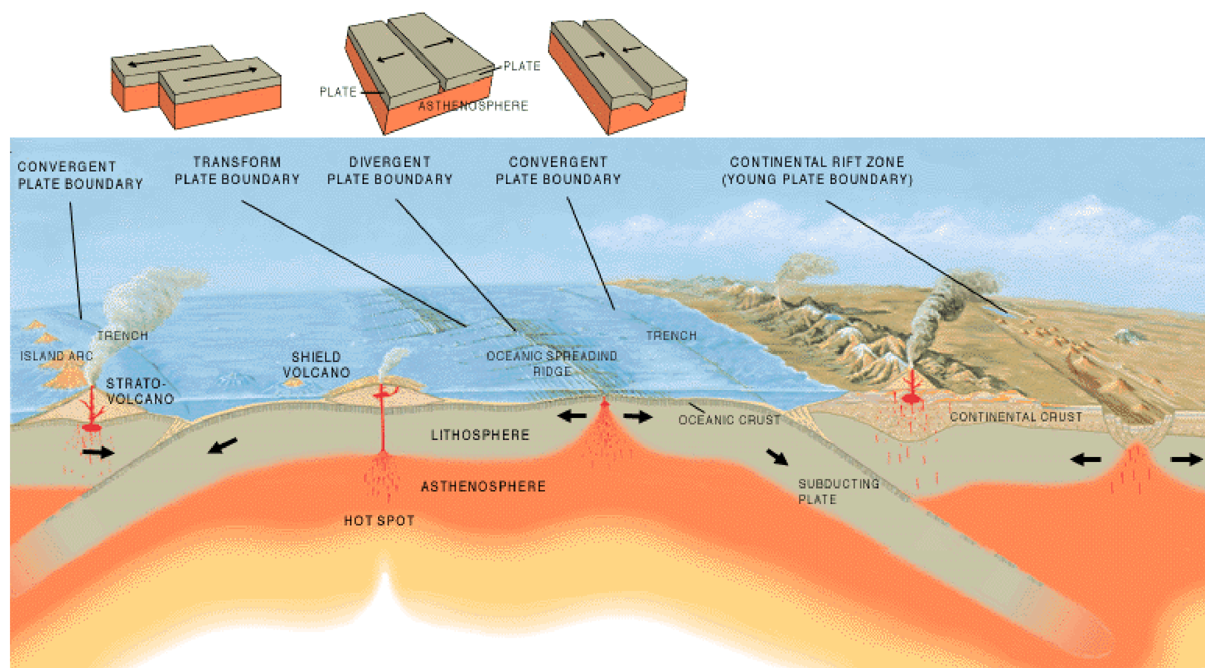


Figura 1.6. Schiță reprezentând zonele convergente, divergente şi transcurente ale plăcilor tectonice (USGS, n.d.)

Pe lângă cutremurele generate la marginile active ale plăcilor tectonice, câteodată se produc cutremure devastatoare în interiorul plăcilor tectonice. Acestea din urmă poartă denumirea de cutremure **intra-placă**. Astfel de cutremure de pământ indică faptul că plăcile litosferice nu sunt indeformabile şi că în interiorul acestora se pot produce fracturi. Exemple ale unor astfel de cutremure sunt nord-estul Iranului, New Madrid (Missouri, SUA), Charleston (Carolina de Sud, SUA), nordul China.

1.3.2. Alte cauze ale cutremurelor

Cu toate că activitatea tectonică este responsabilă pentru marea majoritate a cutremurelor de pământ, acestea pot fi generate şi de terțe cauze. Printre acestea se numără:

- **Cutremurele de natură vulcanică**. Cei mai mulți vulcani sunt amplasați pe marginile active ale plăcilor tectonice. Există şi vulcani intra-placă, cum sunt de exemplu vulcanii din insulele Hawai. Cu toate acestea, majoritatea cutremurelor în zone vulcanice sunt de natură tectonică. Cutremurele de pământ de natură vulcanică sunt relativ rare şi de putere mică, şi pot fi produse de exploziile vulcanice, de mişcarea magmei, sau de prăbuşirea magmei solidificate de pe coşul vulcanului pe vatra acestuia.
- **Explozii**. Cutremurele de pământ pot fi produse de detonări subterane a unor dispozitive chimice sau nucleare. Exploziile nucleare subterane care au avut loc în trecut au fost cauza unor cutremure de pământ cu magnitudini ajungând la 6.
- **Cutremure de prăbuşire**. Această categorie de cutremure de pământ are intensități mici şi se datorează prăbuşirii tavanului unor mine şi caverne. O altă modalitate de producere a acestor cutremure este prin desprindere explozivă a unor mase mari de rocă de pe pereții minelor din cauza tensiunilor acumulate. Astfel de cutremure au fost observate in Canada şi Africa de Sud. Alunecările de teren masive pot cauza şi ele cutremure minore.
- **Cutremure induse de rezervoare de apă masive**. Au fost observate creşteri ale activității seismice în zone în care au fost construite baraje mari de apă. Calculele au demonstrat că tensiunile generate de încărcarea din apă este prea mare pentru a conduce la fractura rocii de bază. Cea mai plauzibilă explicație constă în faptul că roca din vecinătatea barajelor de apă se

află deja într-o stare de tensiune, gata să alunece. Umplerea rezervorului cu apă fie duce la creşterea stării de tensiune şi generează alunecarea, fie presiunea apei din fisuri micşorează rezistența faliei, fie au loc ambele fenomene.

- **Impactul cu corpuri extraterestre**. Căderea unor meteoriți pot genera cutremure locale.

1.4. Tipurile de falii

Observațiile în teren indică faptul că există schimbări bruşte în structura rocilor. Aceste schimbări au loc la contactul (de-a lungul fisurii) dintre două blocuri tectonice diferite şi poartă denumirea de **falii**. Acestea pot avea lungimi cuprinse între câțiva metri şi sute de kilometri. Prezența faliilor indică faptul că la un moment dat în trecut au avut loc deplasări relative de-a lungul acestora. Aceste deplasări pot fi fie **lunecări lente**, care nu produc mişcări seismice, fie **ruperi bruşte**, care produc cutremure de pământ. În majoritatea cutremurelor faliile nu ajung până la suprafața terenului şi în consecință nu sunt vizibile. Un exemplu de falie cu efecte la suprafața terenului este reprezentată în Figura 1.7.



Figura 1.7. Efectul unei falii transcurente la suprafața terenului (USGS, n.d.)

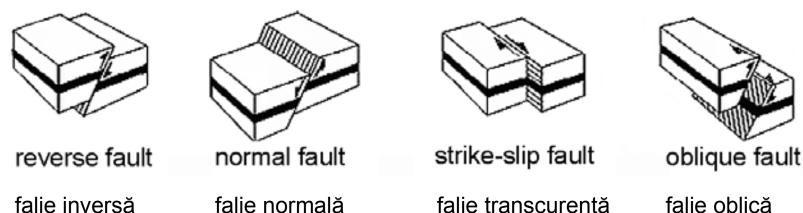
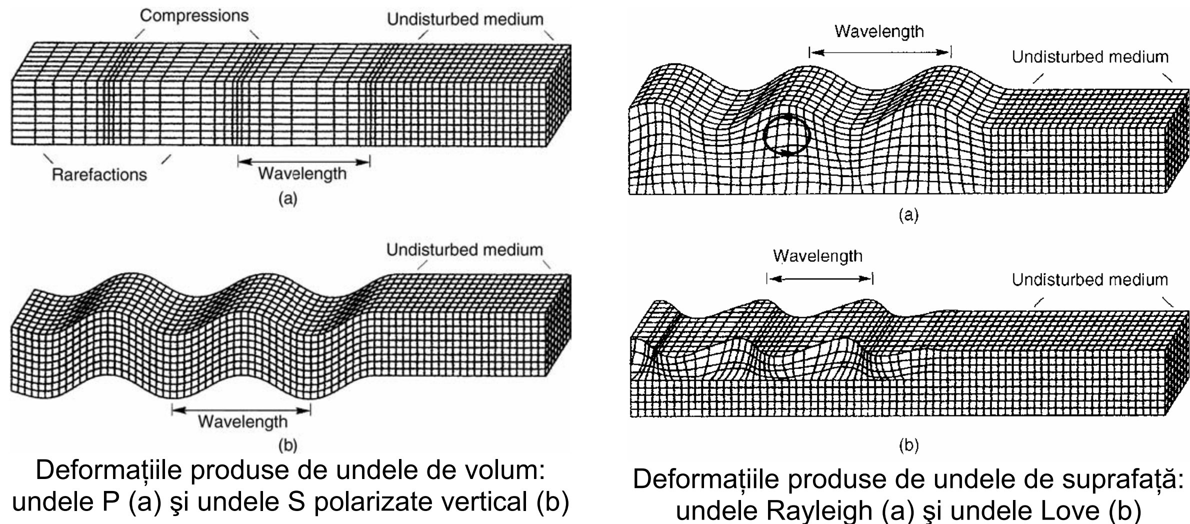


Figura 1.8. Tipuri principale de falii (Oros, 2002)

Faliile sunt clasificate funcție de geometria acestora şi de direcția de alunecare relativă. Principalele tipuri de falii sunt reprezentate în Figura 1.8. **Panta** unei falii este unghiul pe care îl creează suprafața faliei cu orizontala, iar **direcția** unei falii este direcția proiecției faliei pe suprafața terenului față de nord. O **falie transcurentă** implică deplasarea blocurilor de rocă paralel cu falia. Alunecarea la o **falie normală** are loc în plan vertical (paralel cu panta), placa superioară a faliei înclinate deplasându-se în jos față de placa inferioară (falierea produce o întindere a crustei). Alunecarea la o **falie inversă** are loc în plan vertical (paralel cu panta), placa superioară faliei înclinate deplasându-se în sus față de placa inferioară (falierea produce scurtarea crustei). Faliile cele mai des întâlnite în natură sunt **faliile oblice**, care reprezintă o combinație între mişcările în plan orizontal şi vertical.

1.5. *Undele seismice*

Mişcarea seismică dintr-un amplasament date se datorează diverselor tipuri de unde generate de o alunecarea unei falii. Există două tipuri de bază de unde seismice: unde de volum şi unde de suprafaţă. Undele P şi S se numesc unde de volum deoarece acestea se pot propaga prin interiorul pământului. Undele de suprafaţă se propagă doar în apropiere suprafeţei terenului, şi se poate face distincţie între unde Rayleigh şi unde Love. Undele de suprafaţă rezultă din interacţiune undelor de volum cu suprafaţa terenului.



Deformațiile produse de undele de volum: undele P (a) şi undele S polarizate vertical (b)

Deformațiile produse de undele de suprafață: undele Rayleigh (a) şi undele Love (b)

Figura 1.9. Reprezentarea schematică a undelor seismice de volum şi de suprafaţă (Bolt, 2004).

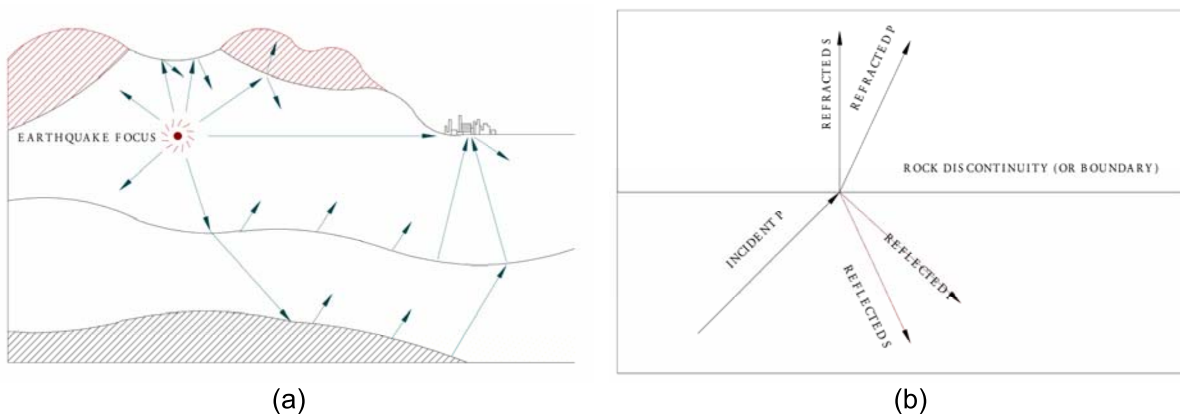


Figura 1.10. Reflectarea, refracția şi transformarea undelor seismice (Bolt, 2001).

Cele patru tipuri de unde seismice sunt discutate pe scurt în cele ce urmează (vezi Figura 1.9):

- Undele P (de volum). Undele P sunt cunoscute şi ca unde primare, de compresiune sau longitudinale. Este o undă seismică care generează o serie comprimări şi dilatări ale materialului prin care se propagă. Undele P au viteza cea mai mare i sunt primele care ajung într-un amplasament dat. Acest tip de unde se poate propaga atât prin solide, cât şi prin lichide. Deoarece terenul şi rocile rezistă relativ bine la ciclurile de compresiune-întindere, de obicei impactul undelor P asupra mişcării seismice dintr-un amplasament este cel mai mic.
- Undele S (de volum). Undele S sunt cunoscute ca şi unde secundare, de forfecare, sau transversale. Undele S generează deformații de forfecare în materialul prin care se propagă. Aceste unde se pot propaga doar prin materiale solide. Viteza de propagare a undelor S este mai mică decât a undelor P, în schimb efectul undelor asupra mişcării seismice dintr-un amplasament este cel mai mare.

- Undele Love (de suprafață). Acest tip de unde sunt similare undelor S, fiind unde transversale care se propagă la suprafața terenului, mişcarea particulelor terenului având loc în plan orizontal.
- Undele Rayleigh (de suprafață). Acest tip de unde este similar undelor create de o piatră aruncată într-un vas cu apă. Mişcarea particulelor are loc într-un plan vertical.

Propagarea undelor P şi S prin scoarța terestră este însoțită de reflexii şi refracții multiple la interfața dintre roci de diferite tipuri (vezi Figura 1.10a). În plus, la fiecare interfață, are loc o transformare a undelor dintr-un tip în altul (vezi Figura 1.10b). Din punct de vedere al unui inginer constructor, nu este foarte importantă distincția între cele patru tipuri de unde. Efectul global al acestora, în termeni de intensitate a mişcării seismice în amplasament este mai importantă. Cu toate acestea, este important să se recunoască faptul că mişcarea seismică într-un amplasament va fi afectată în cea mai mare măsură de undele S, iar în unele cazuri şi de undele de suprafață.

1.6. Efectele cutremurelor

Cutremurele distruge construcțiile inginereşti în mai multe moduri, dintre care amintim aici:
- prin forțele de inerție induse în structuri datorită mişcării seismice
- incendiile induse de cutremurele de pământ
- modificarea proprietăților fizice ale terenului de fundare (consolidări, tasări, lichefieri)
- deplasarea directă a faliei la nivelul terenului
- alunecări de teren
- schimbarea topografiei terenului
- valuri induse de cutremure, cum ar fi cele oceanice (țunami) sau cele din bazine şi lacuri (seiche)

Dintre efectele cutremurelor de pământ amintite mai sus, distrugerile cele mai semnificative şi cele mai răspândite se datorează vibrațiilor induse în construcții inginereşti de mişcarea seismică (vezi Figura 1.11). Reducerea acestui hazard seismic face obiectul cursului e inginerie seismică.



(a)
(sursa: http://nisee.berkeley.edu/)



(b)
(sursa: http://www.ngdc.noaa.gov/)

Figura 1.11. Colapsul parțial al unei structuri din b.a. la Bucureşti în timpul cutremurului din 4 martie 1977 din Vrancea (a); Distrugerea parțială a parterului unei clădiri de birouri în timpul cutremurului din 16 ianuarie 1995 de la Kobe, Japonia (b).

Incendiile care se pot declanşa ca urmare a unui cutremur reprezintă un pericol major. Astfel, în timpul cutremurului din 1906 de la San Fransisco, doar 20% din pierderile totale s-au datorat

distrugerilor directe din cauza mişcării seismice, restul de 80% datorându-se incendiilor care au devastat oraşul timp de trei zile şi care mistuit 12 kilometri pătraţi şi 521 de blocuri din centrul oraşului.

Distrugerile datorate comportării terenului de fundare au creat mare probleme în cutremurele din trecut. Un exemplu clasic este cazul cutremurului din Niigata din 1964 (vezi Figura 1.13a), care nu a avut o intensitate importantă (o acceleraţie maximă a terenului de 0,16 g), considerând nivelul pierderilor suferite. Dezvoltarea oraşului a impus folosirea unor terenuri proaste din fosta albie a râului Shinano. Ca urmare a mişcării seismice, multe clădiri s-au înclinat sau răsturnat ca urmare a lichefierii terenul de fundare. Un număr de 3018 clădiri au distruse şi 9750 au suferit degradări medii până la severe în prefectura Niigata, majoritatea datorându-se tasărilor inegale şi fisurilor apărute în terenul de fundare.

Deplasările directe ale faliei la nivelul terenului sunt probabil cele mai cutremurătoare la nivel social. Cu toate că în trecut au fost observate distrugeri datorită deplasărilor directe ale faliei la nivelul terenului (vezi Figura 1.13b), acest fenomen este întâlnit relativ rar, iar distrugerile şi suprafaţa afectată sunt minore în comparaţie cu cele datorate vibraţiilor induse în construcţii de mişcarea seismică.



(a)
(sursa: http://nisee.berkeley.edu/)



(b)
(http://www.rekihaku.ac.jp/)

Figura 1.12. Incendii urmate de cutremurele din 1906 din San Francisco (a) şi marele cutremur Kanto din 1923 (b).



(a)
(sursa: http://nisee.berkeley.edu/)



(b)
(sursa: http://www.eas.slu.edu/)

Figura 1.13. Răsturnarea unor blocuri de locuit la Kawagishi-Cho, Niigata, ca urmare a lichefierii terenului în timpul cutremurului din 1964 (a); şine de tramvai îndoite ca urmare a deplasărilor terenului produse în timpul cutremurului din 1906 de la San Fransisco (b).

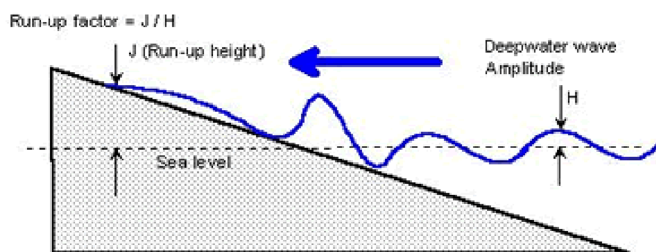


(a)
(sursa: USGS)

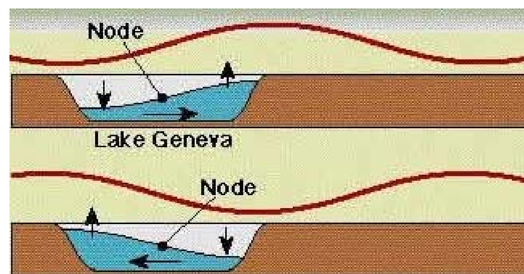


(b)
(http://www.ngdc.noaa.gov/)

Figura 1.14. Alunecări de teren în La Conchita, California, 1995 (a); Partea de sud-est a golfului Izmit, inundat ca urmare a subsidenței în timpul cutremurului din 17 august 1999 din Izmit, Turcia.



(a)
(sursa: USGS)



(b)
(sursa: USGS)

Figura 1.15. Reprezentarea schematică a efectului unui țunami (a) şi unui seiche (b).

Alunecările de teren induse de cutremure (vezi Figura 1.14a), cu toate că reprezintă un pericol major, sunt din fericire relativ restrânse.

Schimbările topografice datorate cutremurelor nu duc în mod direct la pierderi de vieți omeneşti. Cea mai importantă consecință a unor astfel de modificări o reprezintă distrugerile pe care le pot avea astfel de structuri cum sunt podurile şi barajele. În anumite cazuri pot avea loc inundației ale terenului, ca urmare a subsidenței unor terenuri aflate pe malul unor ape (vezi Figura 1.14b).

Țunami sunt valurile oceanice generate de cutremurele de pământ subacvatice şi care pot crea distrugeri însemnate în localitățile de coastă (vezi Figura 1.15a). Oceanul Pacific este deseori scena unor astfel de evenimente. Pentru ca un cutremur să genereze un țunami, acesta trebuie să fie asociat unei falii de tip inversă sau normală, în timp ce faliile transcurente nu produc în general astfel de fenomene. La 15 iunie 1896 în regiunea Honshu Japoniei a fost devastată de un țunami cu o înălțime vizuală a valului de 20 metri şi care a înecat în jur 26000 oameni. Timpul de propagare a unui țunami de la coastele Chile până la insulele Hawai este de 10 ore, iar de la Chile până în Japonia de 20 ore. Astfel, schema de prevenire a pierderilor omeneşti în Pacific din cauza țunami o reprezintă un sistem de monitorizare şi alertare compus din câteva zeci de stații

amplasate în oceanul Pacific. Pe lângă acest sistem, hazardul valurilor uriaşe poate fi redus prin construcţii de coastă specifice şi evitarea amplasării construcţiilor în zonele joase de pe coastă.

Fenomenul "seiche" (vezi Figura 1.15b) reprezintă revărsarea apei peste marginile bazinului sau malurile unui lac în urma mişcării produse de un cutremur de pământ.

1.7. Intensitatea şi magnitudinea

Analiza ştiinţifică a cutremurelor necesită o cuantificarea a acestora. Înainte de apariţia aparatelor seismice moderne, efectele cutremurelor de pământ erau estimate calitativ prin intermediul **intensităţii** degradărilor, care diferă de la un amplasament la altul. Cu apariţia şi utilizarea seismometrelor a devenit posibilă definirea **magnitudinii**, a unui parametru unic pentru un eveniment seismic, care măsoară cantitatea de energie eliberată de un cutremur. Cele două modalităţi de măsurare a cutremurelor rămân cele mai utilizate în ziua de astăzi, fiecare având câteva scări alternative.

1.7.1. Intensitatea seismică

Intensitatea seismică reprezintă cea mai veche măsură a cutremurelor. Aceasta se bazează pe observaţii calitative ale efectelor unui cutremur într-un amplasament dat, cum ar fi degradările construcţiilor şi reacţia oamenilor la cutremur. Deoarece scările de intensitate seismică nu depind de instrumente, aceasta poate fi determinată chiar şi pentru cutremure istorice. Prima scară a intensităţii seismice a fost dezvoltată de Rossi (Italia) şi Forel (Elveţia) în 1880, cu valori ale intensităţii seismice între I şi X. O scară mai exactă a fost inventată de vulcanologul şi seismologul italian Mercalli în 1902, având valori ale intensităţii cuprinse între I şi XII. Scările de intensitate seismică cele mai utilizate astăzi sunt Mercalli modificată (MMI), Ross-Forel (R-F), Medvedev-Sponheur-Karnik (MSK-64), Scara Macroseismică Europeană (EMS-98) şi scara agenţiei meteorologice japoneze (JMA). În România se utilizează scara MSK (descrisă în Tabel 1.1), iar zonarea intensităţii seismice a României conform SR 11100/1 din 1993 este prezentată în Figura 1.16. Există relaţii aproximative între intensitate seismică exprimată în grade şi măsuri inginereşti, cum ar fi acceleraţia maximă a terenului.

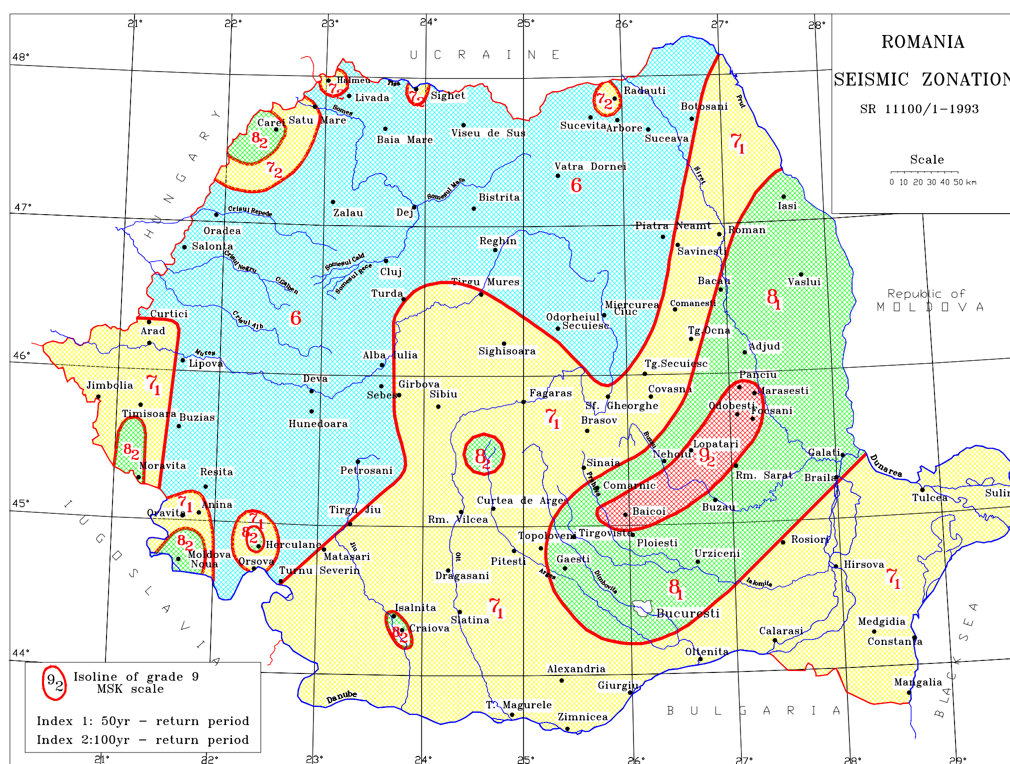


Figura 1.16. Zonarea seismică a României conform SR 11100/1 din 1993 (Lungu et al., 2001).

Tabel 1.1. Scara intensității seismice MSK (Dimoiu, 1999)

Gradul – denumirea	Descrierea efectelor asupra	
	Viețuitoarelor şi obiectelor mediului	Lucrărilor de construcții
I – imperceptibil	înregistrat numai de aparate	
II – abia simțit	simțit în case la etajele superioare de persoane foarte sensibile	
III – slab	simțit în casă, de cei mai mulți oameni în repaus; obiectele suspendate se leagănă uşor; se produc vibrații asemenea acelor cauzate de trecerea unor vehicule uşoare	
IV – puternic	obiectele suspendate pendulează; vibrații cala trecerea unui vehicul greu; geamurile,uşile, farfuriile zornăie; paharele, oalele se ciocnesc; la etajele superioare tâmplăria şi mobila trosnesc	
V – deşteptător	simțit şi afară din casă; cei ce dorm se trezesc; lichidele din vaze se mişcă şi uneori se vară; obiectele uşoare instabile se deplasează sau se răstoarnă; tablourile şi perdelele se mişcă; uşile trepidează, se închid şi se deschid	
VI – provoacă spaima		apar crăpături în tencuiala slabă şi în zidării din materiale slabe, fără mortar
VII – provoacă avarierea clădirilor	stabilitatea oamenilor este dificilă; se simte chiar în vehicule aflate în mişcare; mobila se crapă; apar valuri pe suprafața lacurilor, sună clopotele grele; apar uşoare alunecări şi surpări la bancurile de nisip şi pietriş	se distrug zidăriile fără mortar, apar crăpături în zidării cu mortar; cade tencuiala, cărămizi nefixate, țigle, cornişe parapeți, calcane, obiecte ornamentale
VIII – provoacă avarii puternice	copacii se rup, vehiculele sunt greu de condus, se modifică temperatura sau debitul izvoarelor sau sondelor; apar crăpături în terenuri umede şi pe pante	apar avarii şi la construcțiile bine executate; cele slab construite se dărâmă parțial; coşurile de fum, monumentele înalte se răsucesc pe soclu, se prăbuşesc; construcțiile se mişcă pe fundații; ferestrele nefixate în pereți sunt aruncate afară
IX – provoacă avarii foarte importante	panică generală; apar crăpături în sol; în regiuni aluvionare țâşneşte nisip şi mâl; apar izvoare noi şi cratere de nisip	zidăriile slabe sunt distruse, cele cu mortar sunt puternic avariate; apar avarii la fundații, se rup conducte
X – distrugător	alunecări masive de teren; apa este aruncată peste malurile râurilor, lacurilor, etc.; şinele de cale ferată sunt uşor îndoite	majoritatea clădirilor din zidărie sunt distruse, la scheletele din beton armat zidăria de umplutură este aruncată afară, iar capetele stâlpilor sunt măcinate, stâlpii din oțel se îndoaie; avarii serioase la taluze, diguri, baraje
XI – catastrofal	traversele şi şinele de cale ferată sunt puternic încovoiate; conductele îngropate sunt scoase din folosință	surparea tuturor construcțiilor din zidărie; avarii grave la construcțiile cu schelet din beton armat şi oțel
XII – provoacă modificarea reliefului	se modifică liniile de nivel ale reliefului; deplasări şi alunecări de maluri; râurile schimbă cursul; apar căderi de apă; obiectele depe sol sunt aruncate în aer	

1.7.2. Magnitudinea

Magnitudinea este o măsură a energiei eliberate de un cutremur, fiind o valoare unică pentru un eveniment seismic, spre deosebire de intensitate, care are valori diferite funcție de distanța de la epicentru şi condițiile locale de amplasament. Magnitudinea se bazează pe măsurători instumentate şi astfel nu conține gradul de subiectivism pe care îl are intensitatea seismică.

O măsură strict cantitativă a cutremurelor a fost inițiată în 1931 de Wadati în Japonia şi dezvoltată în 1935 de Charles Richter în California, SUA. Richter a definit **magnitudinea locală M_L** a unui cutremur ca şi logaritmul cu baza zece a amplitudinii maxime în microni (10^{-3} mm) *A* înregistrată cu un seismograf Wood-Anderson amplasat la o distanță de 100 km de epicentru:

$$M_L = \log A - \log A_0 \qquad (1.1)$$

$\log A_0$ este o valoare standard funcție de distanță, pentru instrumente aflate la alte distanțe decât 100 km, dar nu mai departe de 600 km de epicentru. Relația (1.1) implică creştere de zece ori a amplitudinii deplasărilor înregistrate de seismograf la creşterea magnitudinii cu o unitate. Pentru aceiaşi creştere a magnitudinii cu o unitate, cantitatea de energie seismică eliberată de un cutremur creşte de aproximativ 30 de ori.

Scara de magnitudini locale (M_L) a fost definită pentru California de sud, cutremure de suprafață, şi distanțe epicentrale mai mici de 600 km. Ulterior au fost dezvoltate alte scări de magnitudini, descrise pe scurt în continuare.

Magnitudinea undelor de suprafață (M_s). Undele de suprafață cu o perioadă de aproximativ 20 secunde domină adeseori înregistrările seismografice ale cutremurelor îndepărtate (distanțe epicentrale mai mari de 2000 km). Pentru cuantificarea acestor cutremure, Guttenberg a definit scara de magnitudini a undelor de suprafață, care măsoară amplitudinea undelor de suprafață cu perioada de 20 secunde.

Magnitudinea undelor de volum (m_b). Cutremure de adâncime sunt caracterizate de unde de suprafață nesemnificative. De aceea pentru acest tip de cutremure magnitudinea m_b se determină pe baza amplitudinii undelor P, care nu sunt afectate de adâncimea hipocentrului.

Magnitudinea moment (M_W). Magnitudinile M_L, m_b şi într-o măsură mai mică M_s întâmpină dificultăți în distingerea între cutremurele foarte puternice. Ca urmare a acestui fapt, a fost dezvoltată magnitudinea moment M_W, care depinde de momentul seismic M_0, la rândul său în relație directă cu dimensiunea sursei seismice:

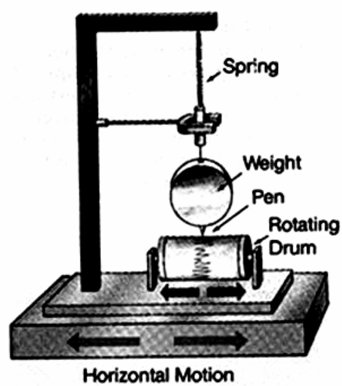
$$M_W = (\log M_0)/1.5 - 10.7 \qquad (1.2)$$

unde M_0 este momentul seismic în dyn-cm.

Fenomenul de saturație se referă subestimarea energiei cutremurelor puternice şi este caracteristică magnitudinilor M_L, m_b şi într-o măsură mai mică M_s. Magnitudinea moment M_W nu suferă de acest dezavantaj şi de aceea este preferat în zilele noastre.

1.8. Înregistrarea mişcării seismice

Un **seismograf** este un instrument care măsoară mişcarea suprafeței terenului din cauza undelor generate de un cutremur de pământ, funcție de timp. În Figura 1.17a este prezentat schematic principiul de funcționare a unui seismograf. **Seismograma**, reprezentând înregistrarea efectuată cu ajutorul seismografului oferă informații despre natura cutremurului de pământ. Conceptual, un seismograf este alcătuit dintr-un de un pendul sau o masă ataşată unui arc. În timpul unui cutremur, rola de hârtie fixată de baza seismografului se mişcă odată cu terenul în timp ce pendulul împreună cu stiloul ataşat acestuia rămân mai mult sau mai puțin în repaus, datorită forțelor de inerție, înregistrând mişcarea seismică. După încetarea mişcării seismice pendulul va tinde să ajungă în echilibru, efectuând înregistrări false ale mişcării. De aceea este necesar un mecanism de amortizare.



(a)



(b)

Figura 1.17. Conceptul unui seismograf (a) şi un accelerometru modern (b).

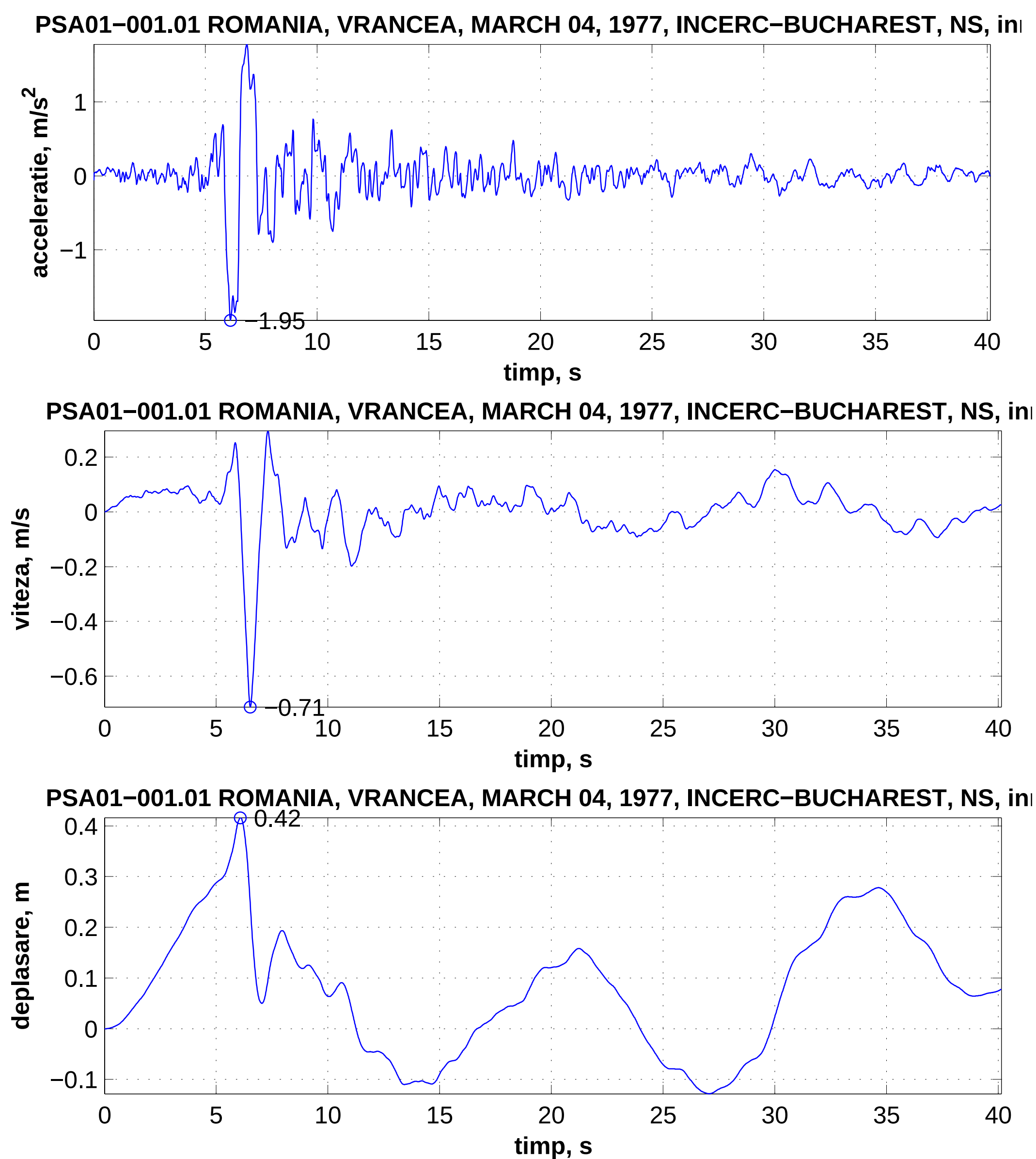


Figura 1.18. înregistrări pentru componentele nord-sud ale acceleraţiei, vitezei şi deplasării efectuate la staţia INCERC-Bucureşti în timpul cutremurului din 04 martie 1977 din Vrancea.

Instrumentele moderne de înregistrare a mişcării seismice se numesc generic **seismometre**. Cele mai uzuale instrumente sunt **accelerometrele** (Figura 1.17b), care înregistrează digital accelerația terenului, cea mai utilă în ingineria seismică. Un astfel de instrument are de obicei trei senzori: doi pentru înregistrare componentelor orizontale (nord-sud şi est-vest), şi un al treilea pentru componenta verticală a mişcării seismice. Accelerația este uzual exprimată în cm/s^2, fie în raport cu accelerația gravitațională g=981 cm/s^2. Valorile vitezei şi cele ale deplasării terenului în urma unei mişcări seismice se pot obține ulterior prin integrarea accelerației. În calitate de exemplu, Figura 1.18 prezintă înregistrări pentru componentele nord-sud ale accelerației, vitezei şi deplasării efectuate la stația INCERC-Bucureşti în timpul cutremurului din 04 martie 1977 din Vrancea. Valoarea maximă a accelerației înregistrate este uzual denumită **valoarea de vârf a accelerației terenului**. Pentru componenta nord-sud a mişcării seismice menționate anterior aceasta are valoare absolută de 1.95 m/s^2.

1.9. Seismicitatea României

Hazardul seismic din România este datorat contribuției a doi factori: (i) contribuția majoră a zonei seismice subcrustale Vrancea şi (ii) alte contribuții provenind din zone seismogene de suprafață, distribuite pe întreg teritoriul țării, vezi Figura 1.19 (Lungu et al, 2003).

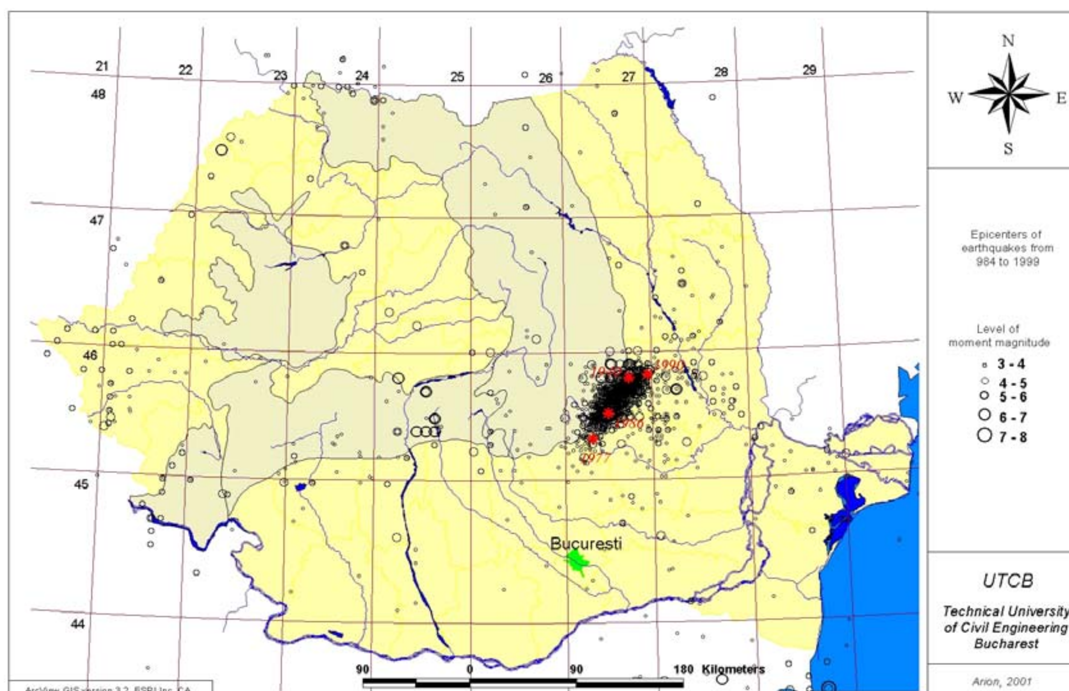


Figura 1.19. Epicentrele cutremurelor ce au avut loc în România în perioada 984 – 1999 (Lungu et al., 2003).

Zona seismogenă Vrancea este situată la curbura Carpaților, având, după datele din acest secol, un volum relativ redus: adâncimea focarelor între 60 şi 170 km şi suprafața epicentrală de cca. 40x80 km2. Sursa Vrancea este capabilă să producă mari distrugeri în peste 2/3 din teritoriul României şi în primul rând în Bucureşti: pagube de 1.4 Miliarde USD numai în Capitală din totalul de peste 2 Miliarde USD în România în 1977. Cutremurul Vrâncean cel mai puternic este considerat a fi cel din 26 Octombrie 1802, magnitudinea Gutenberg-Richter, M apreciată de diferiți autori pentru acest cutremur se situează între 7.5 şi 7.7. Cutremurul Vrâncean cu cea mai mare magnitudine din acest secol a fost cel din 10 Noiembrie 1940 având magnitudinea Gutenberg-Richter M=7.4 şi adâncimea de 140-150 km. Cutremurul Vrâncean cu cele mai distrugătoare efecte asupra construcțiilor şi primul cutremur puternic pentru care s-a obținut o accelerogramă înregistrată în România a fost cel din 4 Martie 1977: magnitudinea Gutenberg-Richter M=7.2, adâncimea focarului h=109 km, distanța epicentrală față de Bucureşti 105 km. În Bucureşti acest

cutremur a cauzat peste 1400 pierderi de vieți omenești și prăbușirea a 23 construcții înalte din beton armat şi 6 clădiri multietajate din zidărie realizate înainte de cel de al doilea război mondial precum şi a 3 clădiri înalte din beton armat construite în anii ’60 - ‘70.

“Banatul este o regiune foarte bogată în focare proprii, focare care se grupează în 2 regiuni distincte. O regiune o constituie partea de SE a Banatului (Moldova Nouă), iar o altă împrejurimile oraşului Timişoara” (I. Atanasiu, Cutremurele de pământ din România, 1959). După Constantinescu şi Marza celor 2 zone seismogene principale din Banat li se pot adăuga şi următoarele zone: Sânicolaul Mare, Arad şi granița română – sârbă. Cel mai puternic cutremur Bănățean din sursa Moldova Nouă în secolul XX a fost cutremurul din 18 Iulie 1991, M=5.6, h = 12 km iar din sursa Timişoara a fost cutremurul din 12 Iulie 1991, M =5.7, h = 11 km.

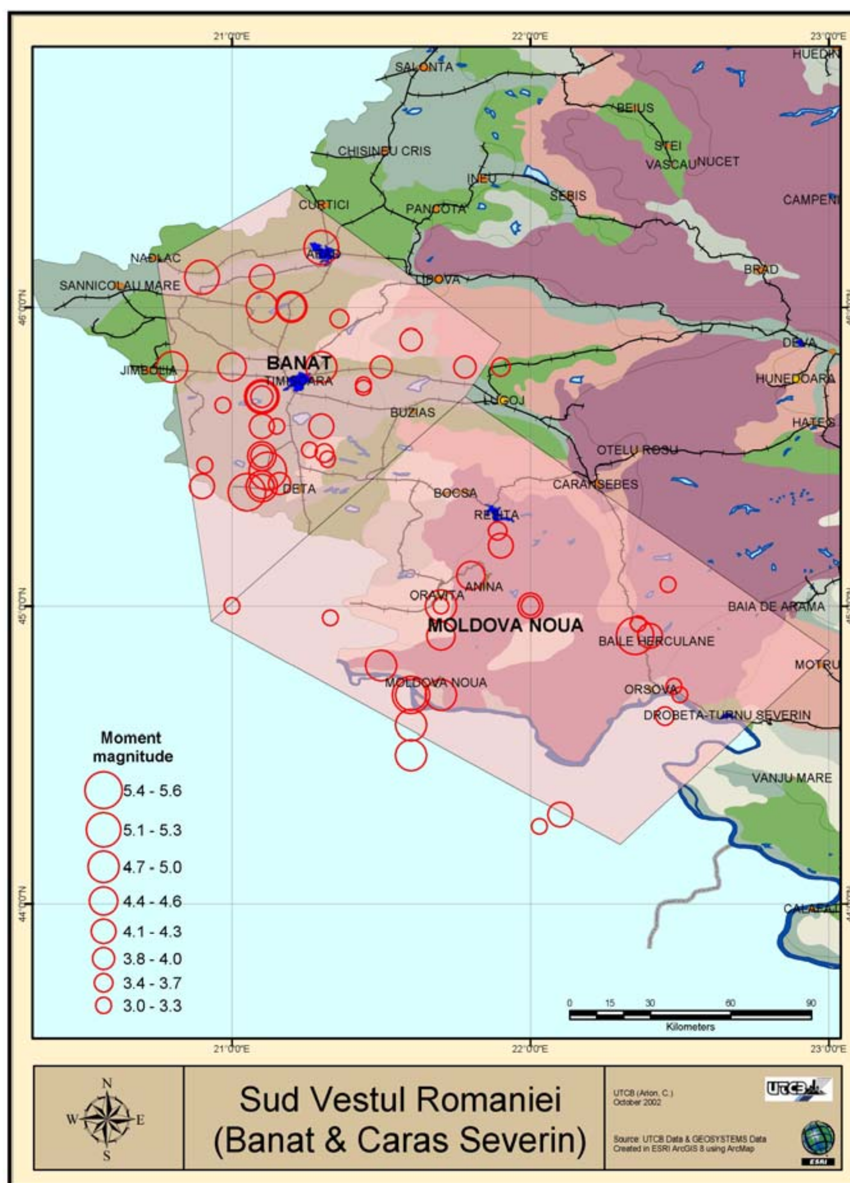


Figura 1.20. Poziționarea geografică a epicentrelor cutremurelor bănățene în perioada 1794-2001 (Lungu et al, 2003).

Harta de zonare seismică a teritoriului României în termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g pentru cutremure având intervalul mediu de recurentă IMR = 100 ani este prezentată în Figura 1.21.

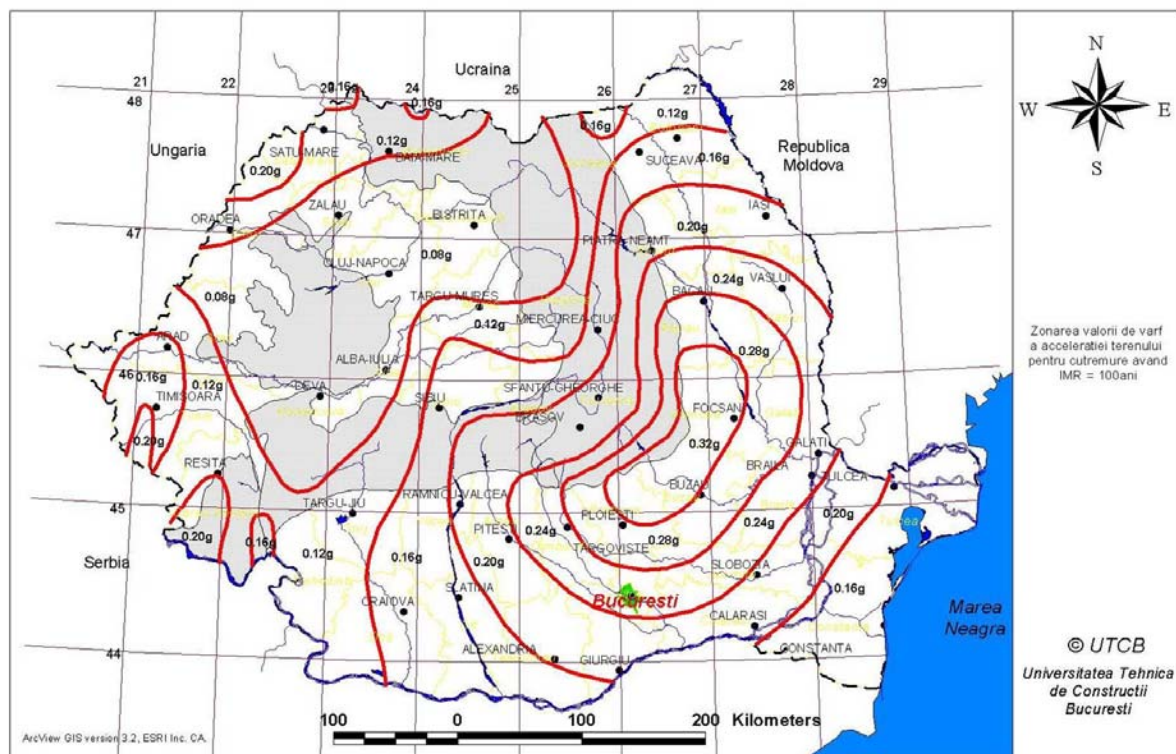


Figura 1.21. Zonarea teritoriului României in termeni de valori de vârf ale accelerației terenului pentru proiectare a_g pentru cutremure având intervalul mediu de recurentă IMR = 100 ani, (P100 – 2006).